



Sauerteig, Volkmar; Gens, Wolfgang; Petzoldt, Jürgen :

Das Betriebsverhalten einer von einem Stromwechselrichter gespeisten Gruppe von Drehstromasynchronmaschinen

Zuerst erschienen in:

28. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium 1983,
Vortragsreihe A3: Elektrische Maschinen und Antriebe / Technische
Hochschule Ilmenau : IWK. - Ilmenau : Hochschule, ISSN 0374-3365,
Bd. 28 (1983), 2, S. 81-84

V. SAUERTEIG/ W. GENS/
J. PETZOLDT

Das Betriebsverhalten einer von einem Stromwechselrichter gespeisten Gruppe von Drehstromasynchronmaschinen

1. Einleitung

Die technische Entwicklung auf dem Gebiet der Leistungs- und Informationselektronik gestattet es in zunehmendem Maße, kosten- und volumengünstige Frequenzumrichter aufzubauen, mit deren Hilfe es möglich ist, eine energetisch günstige Drehzahlstellung bzw. -regelung von Drehstromantrieben zu realisieren. Die eingesetzten Umrichter arbeiten entweder mit eingepprägter Zwischenkreisspannung oder mit eingepprägtem Zwischenkreisstrom. Die letztere Variante besitzt den Hauptvorteil, daß mit einem einfachen Eingangsstromrichter der Energiefluß von der Antriebs- auf die Netzseite und umgekehrt auf relativ einfache Art und Weise realisiert werden kann. Des weiteren zeichnet sie sich durch eine einfachere und übersichtlichere Schaltungstechnik gegenüber der Variante mit Spannungseinprägung aus. Das System mit Stromeinprägung bewirkt, daß die an den Zwischenkreis angeschlossene Last (Wechselrichter (WR), Drehstromasynchronmaschine (DASM)) als Reihenschaltung wirkt. Die daraus resultierende lastabhängige Kommutierung des WR verkörpert einen der Nachteile des Stromzwischenkreisumrichters. Dieser Nachteil bedingt, daß Umrichter dieser Art vordergründig für Einzelantriebe angewendet werden, es sei denn, die angeschlossenen DASM sind mechanisch starr gekuppelt. Ist es möglich, mehrere DASM

von einem gemeinsamen WR zu speisen, auch wenn zwischen ihnen Belastungsdifferenzen auftreten, sind eine Reihe ökonomischer Vorteile zu erwarten. Bei Belastungsdifferenzen, die beispielsweise bei Bahnantrieben infolge von Raddurchmesserunterschieden oder Schleuder- und Gleitvorgängen auftreten, resultieren daraus Leistungsfaktoränderungen der Maschinen, die sich auf das Betriebsverhalten des Antriebs und des Wechselrichters auswirken.

2. Simulation des Betriebsverhaltens zweier parallelgeschalteter Drehstromasynchronmaschinen, die von einem gemeinsamen Stromwechselrichter gespeist werden

Hinsichtlich der elektrischen Kopplung der Einzelmaschinen wurde die Parallelschaltung ausgewählt, die, zumindest beschränkt auf listenmäßige DASM, Vorteile bezüglich der Spannungsbelastung der IWR-Hauptbauelemente bietet. Das betrachtete Mehrmotorensystem besteht aus zwei DASM. Da beide Maschinen über die Ständerspannung gekoppelt sind, müssen zwischen ihnen bei Belastungsdifferenzen Ausgleichsströme fließen, die getrennte Betrachtung beider Maschinen ist deshalb nicht möglich.

Der Simulation liegt das allgemeine Gleichungssystem der DASM zugrunde (Kovacz, K.P.; Racz, I. /1/), wobei das ruhende Ständerkoordinatensystem als Bezug gilt.

$$a_s = R_s i_s + \frac{d\psi_s}{dt} \quad (1)$$

$$0 = R^A + -j\omega - 3 < JY_L \quad (2)$$

28 Intern. Wiss. Koll. TH Ilmenau 1983

Vortragsreihe

„Elektrische Maschinen und Antriebe“

$$* \cdot - i \pm s^L S + \pm A \quad (3)$$

$$Y_L = i_L L_L + i_s L_H \quad (4)$$

$$h \mathbb{M}^* K \quad (5)$$

Für zwei parallelgeschaltete DASM resultiert daraus ein DGL-System mit drei Differentialgleichungen

$$\begin{aligned} \frac{d i_s}{d t} = & \frac{1}{E} [(-L_1 - L_{H1} - L_{L2} - L_{H2} - L_{L2} - L_{H2} - L_{L2} - L_{H2}) i_{s1} + \\ & + L_1 (d_{L1} - j \omega_1) Y_{L1} - L_2 (d_{L2} - j \omega_2) Y_{L2} + \\ & + (L_2 \cdot L_{H2} d_{L2}) i_s + \\ & + 4 T s_2 + W \frac{d i_s}{d t}] \quad (6) \end{aligned}$$

$$d Y \quad (7)$$

$$d Y_L \quad (8)$$

Die Abhängigkeit der Läuferkreisfrequenz ω vom Belastungsmoment M_w wird durch Gleichung (9) beschrieben

$$\omega = \frac{\bar{M} - A}{J} \cdot t. \quad (9)$$

Die Rechnung basiert auf einer ersten Näherungsstufe, die neben den in Kovacz, K.P.; Racz, I./1/ getroffenen Annahmen hinsichtlich der DASM beinhaltet, daß dem Mehrmaschinen-system ein stetiger Summenstrom aufgeprägt wird. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, daß die Kommutierung der IWR-Ausgangsströme in einer endlichen Zeit abläuft.

Die Vernachlässigung der Kommutierungszeit, die eine sprungförmige Änderung des komplexen Raumvektors des IWR-Ausgangsstroms bedeutet, ist aufgrund der numerischen Berechnung nicht zulässig. Die Annahme einer endlichen Frequenz- und stromunabhängigen Kommutierung ermöglicht es, den erforderlichen Rechenaufwand in sinnvollen Grenzen zu halten.

Die Eingangsgrößen des Gleichungssystems, das die Maschinengruppe beschreibt (Gin. (6), (7), (8), (9)) sind der IWR-Ausgangsstrom, dessen Amplitude aus der Beziehung zwischen dem Grundwelleneffektivwert des Maschinenstroms und dem Zwischenkreisstrom resultiert, und die IWR-Aus-

gangsfrequenz, die durch die zeitliche Weiter-schaltung des IWR-Ausgangsstromvektors festgelegt ist. Parameter sind die gegebenen Maschinengrößen und das Belastungsmoment M_w . Die Drehzahl der Maschinen ist selbst keine Eingangsgröße, sie dient lediglich zur Kopplung des mechanischen Systems mit dem elektrischen

Die zur numerischen Lösung des DGL-Systems notwendigen Anfangswerte werden für jede Maschine getrennt berechnet, und zwar für den Fall ihrer gleichmäßigen Belastung. Liegen die Anfangswerte der Läuferflußverkettenungen Y_L vor, können alle weiteren Systemgrößen berechnet werden, da der Verlauf des IWR-Ausgangsstroms, dessen Frequenz, die Maschinen-drehzahlen und die Maschinenparameter vorgegeben sind. Die Bestimmung der Anfangswerte der Läuferflußverkettenungen basiert auf der Forderung nach Periodizität der Vorgänge (Naumin, D.; Klautschek, H. /2/, /3/). Das bedeutet, daß die Drehung des komplexen Raumvektors der Läuferflußverkettenung um eine Sechstelperiode im mathematisch negativen Umlaufsinn dessen Anfangswert entsprechen muß

$$Y_L(t = \frac{\pi}{6}) = Y_L(t = 0) e^{j \frac{\pi}{3}} \quad (10)$$

Es hat sich erwiesen, daß die nach Gl. (10) ermittelten Anfangswerte ausreichend genau sind und eine Iteration nicht erforderlich ist.

Die Anfangswerte werden dem die Parallelschaltung der beiden DASM beschreibenden DGL-System einmalig vorgegeben. Danach erfolgt dessen numerische Integration durch ein entsprechendes Unterprogramm bei der jeweiligen bekannten Störfunktion. Die mechanischen Größen werden jeweils nach einer Sechstelperiode geändert, das heißt, daß während dieser Zeit der Mittelwert des Drehmomentes und eine neue Drehzahl berechnet werden, die als Anfangswerte für die folgende Sechstelperiode gelten. Mit Hilfe des erarbeiteten Rechenprogramms in FORTRAN IV (Kappel, K.-H. /4/) sind die Änderungen zweier Parameter, des Widerstandsmomentes und des Läuferwiderstandes einer DASM möglich. Ihre zeitliche Änderung kann sprunghaft oder linear erfolgen. Der Rechenausdruck beinhaltet folgende interessierende Systemgrößen:

- Gesamtleistungsfaktor $\cos \varphi_p$ /Phasenlage zwischen Maschinenstrangspannung und Grundwelle des IWR-Ausgangsstroms)

- Ständerstrangspannung U_S ,
- Ständerstrom der variabel belasteten DASM I_{Sj} ,
- Läuferströme beider DASM I_{L1} , I_{L2} ,
- Drehmomente beider DASM M_{1k} , M_{2k} .

Mit einem weiteren Unterprogramm können Effektivwerte von interessierenden zeitlich veränderlichen Systemgrößen berechnet werden. Das erfolgt nach der numerischen Fourieranalyse der nichtsinusförmigen Zeitfunktionen.

3. Simulationsergebnisse

Die Rechnung wurde für die Parallelschaltung zweier DASM mit den folgenden Parametern durchgeführt:

$P_n = 22 \text{ kW}$; $U_n = 380 \text{ V}$; $I_n = 44,5 \text{ A}$;
 $n_n = 975 \text{ min}^{-1}$; $\cos \varphi_n = 0,83$; $f_{sn} = 50 \text{ Hz}$;
 $L_s = 28,18 \text{ mH}$; $L_{\text{eff}} = L_{\text{eff}} = 1,2 \text{ mH}$; $R_s = 0,1 \Omega$;
 $R_{L1} = 0,0167 \Omega$; $\tau_{21} = 356 \text{ ms}$;

Änderung des Widerstandsmomentes

Wird eine DASM der Parallelschaltung bei 50 Hz IWR-Ausgangsfrequenz um weniger als zwei Prozent der Nennbelastung sprunghaft entlastet, treten keine nennenswerten Abweichungen der Systemgrößen von ihren Nennwerten auf. Wird die Belastung einer Maschine um zehn Prozent verringert ($\cos \varphi_n$ bereits um mehr als 25 Prozent. Das führt bei einem Phasenfolgewechsler zu einer Löschkondensatorspannungserhöhung um etwa zehn Prozent, bezogen auf den Nennwert. Die Ständerstrangspannung der Maschinen steigt um 25 Prozent an. Der Effektivwert des Ständerstroms der entlasteten Maschine verringert sich bei zehn Prozent Entlastung nur um drei Prozent. Die Differenz zum Effektivwert des Gesamtsystems muß die andere DASM übernehmen. Der Effektivwert des Läuferstroms der entlasteten Maschine sinkt um etwa 30 Prozent. Trotzdem die andere DASM noch das Nennmoment entwickelt, verringert sich ihr Läuferstromeffektivwert um 20 Prozent, was aus einer Läuferflußerhöhung resultiert. Wird eine DASM bei Nennfrequenz zeitlinear um zehn Prozent entlastet, wird zwar das Überspringen der Systemgrößen kleiner, die sich einstellenden stationären Werte sind erwartungsgemäß gleich denen bei sprunghafter Entlastung. Das System mit den angegebenen Parametern reagiert erst etwa nach zehn Perioden der Ständerfrequenz auf die Stör-

funktion. Das bedeutet, daß Entlastungszeiten in dieser Größenordnung zulässig sind.

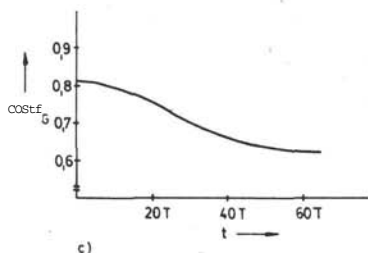
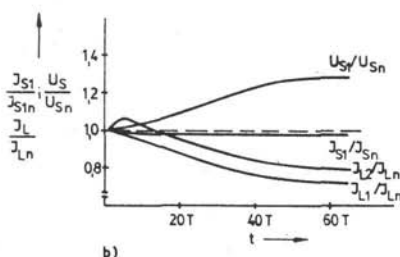
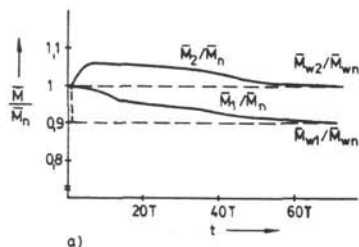


Bild Ua-c): Zeitl. Änderung der Systemgrößen bei sprunghafter Entlastung der Maschine 1 um 10V.; $f_s = f_{sn}$

Änderung des Läuferwiderstandes

Die Erhöhung des Läuferwiderstandes einer DASM um 25 Prozent bewirkt eine Verringerung des Gesamtleistungsfaktors $\cos \varphi_n$ um etwa 25 Prozent. Die Effektivwerte beider Läuferströme verringern sich um 15 Prozent ihres Nennwertes. Die Ständerspannung der Maschinen steigt um etwa 20 Prozent an (Bild 2a-c).

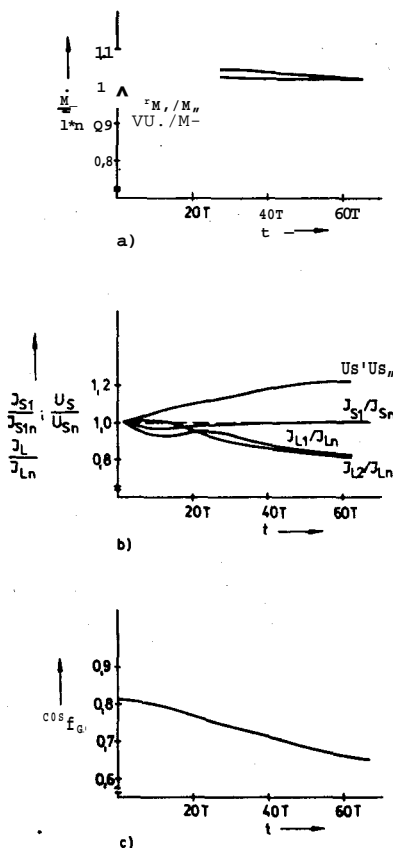


Bild 2(o-c); Ztitl. Änderung der Systemgrößen bei Erhöhung des Läufer Widerstandes der Maschine 1 um $25V^* g \cdot I_{sn}$

Überlastung einer DASM

Wird eine Maschine der Parallelschaltung über ihr Kippmoment hinaus belastet, muß die Läuferflußverkettung verschwinden. Das bedeutet, daß auch die Ständerspannung Null wird. Da die Spannung über beiden Maschinen gleich sein muß, wird auch die mit Nennmoment belastete Maschine außer Tritt fallen.

4. Zusammenfassung

Der Betrieb einer Gruppe von DASM, die parallelgeschaltet von einem gemeinsamen IWR gespeist werden, ist auch bei unterschiedlicher Belastung oder bei möglichen Maschinenparameteränderungen realisierbar. Die Abweichungen vom Nennzustand äußern sich in der Veränderung des Gesamtleistungsfaktors, der Maschinenspannung, der Ständer- und Läuferströme. Parameteränderungen von etwa zwei Prozent haben noch keinen nennenswerten Einfluß auf die Systemgrößen. Abweichungen darüber hinaus dürfen entweder nicht zugelassen oder müssen bei der Auslegung des Antriebssystems beachtet werden.

Literatur

- 1/ Kovacs, K. P.; Racz, I.: Transiente Vorgänge in Wechselstrommaschinen, Verlag der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest 1959, Bd. 1 (514 Se.), Bd. 2 (267 S.)
- 2/ Naunin, D.: Berechnung des Drehmomentenverlaufs einer Asynchronmaschine bei Speisung mit Rechteckströmen, ETZ - A, 90 (1969) 8, S. 179 - 182
- 3/ Klautschek, H.: Das Verhalten der Induktionsmaschine bei Speisung über Stromwechselrichter, ETZ-A, 95 (1974) 5, S. 283 - 287
- 4/ Kappel, K.-H.: Theoretische Untersuchung des dynamischen Verhaltens eines Antriebssystems, bestehend aus einem Stromwechselrichter, der mehrere direkt parallel geschaltete Asynchronmaschinen speist; Diplomarbeit TH, Nr. 143-830-21, 34 S., 18 Beil.

Verfasser

Dipl.-Ing. Volkmar Sauerteig, Mitarbeiter im VEB LEW Hennigsdorf;
Dr.-Ing. Wolfgang Gens, Dozent, TH Ilmenau, Sektion ET;
Dr.-Ing. Jürgen Petzoldt, wissenschaftlicher Oberassistent, TH Ilmenau, Sektion Elektrotechnik